



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 40067

(13) A

(51) 7 G01R31/34

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(21) 99105911

(22) 28.10.1999

(24) 16.07.2001

(33) UA

(46) 16.07.2001, Бюл. № 6, 2001 р.

(72) Родькін Дмитро Йосипович, Луговий Анатолій Васильович, Бялобржевський Олексій Володимирович, Добрецов Володимир Валентинович, Пасмурских Олександр Олексійович, Величко Тетяна Володимирівна, Вошун Олексій Миколайович

(73) Кременчуцький державний політехнічний університет, UA

(57) 1. Спосіб динамічного навантаження двигуна постійного струму незалежного збудження, який полягає в тому, що якорь двигуна живиться від регульованого джерела через датчик струму якоря, обмотка збудження живиться від регульованого джерела через датчик струму збудження, контролюються параметри режиму навантаження, струм якоря, напруга якоря, швидкість обертання якоря, який **відрізняється** тим, що задають залежності струму якоря та кутової швидкості якоря, визначають залежності для напруг на якорі і обмотки збудження, на виході системи управління одержують значення напруг живлення якоря і обмотки збудження, контролюють параметри навантажувального режиму і рівень шуму щітково-колекторного апарата, а також диференціали струму і швидкості за часом, змінюють кут зрушення фаз між змінни-

ми складовими струму якоря та кутової швидкості з певним інтервалом, навантаження повторюють, за одержаними даними роблять висновок про експлуатаційну придатність випробувальної електричної машини.

2. Пристрій, який реалізує спосіб, що включає перетворювач напруги, з'єднаний через датчик струму з якірним ланцюгом машини, напруга на якому контролюється датчиком, збудник, що управляється по напрузі, з'єднаний через датчик струму збудження з обмоткою збудження машини, напруга на якій знімається з датчика напруги, регулятор струму, другий вхід якого з'єднаний з датчиком, регулятор струму збудження другим входом з'єднаний з датчиком струму збудження, який **відрізняється** тим, що пристрій додатково постачений датчиком контролю іскріння колектора, датчиком швидкості, релейним елементом та керуючою ЕОМ, причому шостий вихід ЕОМ з'єднаний з першим входом регулятора струму, сьомий вихід - з першим входом регулятора струму збудження, напруга з датчиків надходить: на вхід три - напруга якоря, на вхід чотири - напруга шуму, на вхід п'ять - струм якоря, на вхід дев'ять - швидкість обертання, на вхід десять - струм збудження, на вхід одинадцять - напруга збудження, по другому входу здійснюється задання основних електричних і механічних параметрів, по першому входу задаються параметри, що формують режими навантаження.

Винахід відноситься до електротехніки, безпосередньо до електроприводу і систем навантаження електричних машин при післяремонтних або інших іспитах.

Відоме технічне рішення навантаження двигуна постійного струму без механічного сполучення валу двигуна з додатковою навантажувальною машиною [Авторське свідоцтво СРСР № 1485829. Пристрій для навантаження двигуна постійного струму G01R31/34]. Навантаження здійснюється шляхом формування періодичної складової напруги живлення якоря разом з деякою постійною його величиною. В результаті електродвигун, знаходячись в режимі подвійного живлення, споживає з мережі постійний за величиною струм, який дорівнює струму холостого ходу, і змінний, що визнача-

ється, як часне від змінної складової напруги та повного опору, що включає активний опір якоря $R_{\text{я}}$; індуктивний опір $\Omega L_{\text{я}}$ (де Ω - частота змінної складової напруги) і опір динамічної ємності $1/\Omega C_{\text{д}}$, (де: $C_{\text{д}} = J/(k\Phi)^2$, J - момент інерції машини, $k\Phi$ - коефіцієнт потоку двигуна). Ефективне навантаження можливе, якщо сумарний опір $Z_{\Sigma\Omega} =$

$$= \sqrt{R_{\text{я}}^2 + \left[(\Omega L_{\text{я}}) - \frac{1}{\Omega C_{\text{д}}} \right]^2} \text{ невеликий.}$$

Якщо момент інерції малий, той ємнісний опір збільшується і струм якоря не великий. Фізично це означає те, що двигун змінює швидкість у відповідності з законом зміни змінної складової напруги живлення. Ефективність навантаження (утворення

(19) UA (11) 40067 (13) A

заданого струмного навантаження) можна поліпшити шляхом збільшення моменту інерції (на вал двигуна необхідно встановити маховик). Це, безумовно, ускладнює конструкцію та самий процес, тому як на кожний двигун потрібен свій маховик, операція його установки трудомістка та тривала за часом. Крім того, динамічні параметри навантаження за швидкістю $d\omega/dt$ жорстко прив'язані за часом до динамічного параметру за струмом di/dt . Досвід показує, що іскріння колектора відбувається при певному поєднанні згаданих характеристик.

Недоліком способу, що аналізується, таким чином, є обмежені границі зміни навантаження та недостатня якість одержуваних характеристик.

Відомий спосіб навантаження, в якому завдання параметрів режиму навантаження здійснюється при постійній величині напруги на якорі і потоці двигуна, що змінюється за періодичним законом [Авторське свідоцтво СРСР № 1563410. Спосіб навантаження двигунів постійного струму та пристрій для його здійснення G01R31/34].

Відомий спосіб здійснюється шляхом підключення двигуна до джерела нерегульованої напруги збоку якоря. За допомогою регульованого джерела живлення ланцюга збудження задається гармонічна складова струму збудження та, як слід, ЕДС двигуна. Під дією змінної складової ЕДС заданої частоти в ланцюзі якоря буде знакозмінний струм, який є навантажувальним. Ефективне значення цього струму:

$$I_E = \sqrt{I_0^2 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k^2}$$

визначає нагрів двигуна при навантаженні.

В наведеній залежності: I_0 - постійна складова струму якоря; I_k - відповідні гармоніки струму якоря. На работоздатність колектора впливає величина струму якоря, швидкість його обертання та похідна струму за часом. Для двигунів, працюючих в тяжких умовах, параметр di/dt , вимірюваний у номіналах за секунду, є нормативним. Так наприклад, для екскаваторних двигунів - це 20-25 $I_{ном}/с$.

Пристрій, який реалізує спосіб, має недолік, який полягає в тому, що для двигунів з невеликою електромеханічною сталою T_m створювати необхідний режим за di/dt неможливо, тому як якорі двигуна з-за малої інерційності встигає змінювати швидкість при зміні керуючого сигналу. Окрім того, пристрій не дозволяє в повному обсязі контролювати фактори, які впливають на утворення іскріння на колекторі. Ці фактори залежать, як показує досвід, і від похідної за швидкості $d\omega/dt$. Тому при іспитах необхідно задавати $d\omega/dt$ та di/dt .

Відоме рішення не дозволяє встановлювати згадані параметри і контролювати рівень радіоперешкод, які є косвеним параметром процесу іскріння.

В способі процес ефективного навантаження також обмежується додатково постійною часу обмотки збудження, внаслідок чого на неї необхідно подавати форсуючу напругу для одержання заданих параметрів змінної складової струму збудження:

$$\frac{U_3(t)}{U_{30}} = \frac{I_0 R_3 + \sqrt{2} \Delta I_3' \cdot \Omega \cdot L_3}{I_0' R_3} > 1,0,$$

де: ΔI_3 - діюче значення змінної складової струму збудження;

Ω , L_3 - частота змінної складової напруги живлення та індуктивність обмотки збудження.

Це також обмежує частоту періодичного збудження та, як наслідок, ефективність навантаження при заданому моменті інерції якоря.

Недоліком способу та приладу, що приймаються за прототип, таким чином, є обмежені можливості створення заданого навантаження, низька якість одержуваних характеристик навантаження, котра забезпечує контроль факторів безіскрової комутації струму на колекторі.

В основу винаходу поставлено завдання збільшення можливостей навантаження, підвищення інформативності отримуваних результатів шляхом формування змінних напруги якоря і струму збудження двигуна, для заданих величин струму якоря і швидкості його обертання, з заданим наріжним зрушенням, контролю струмового навантаження, швидкості двигуна та рівня радіоперешкод щітково-колекторного апарату.

Завдання вирішується таким чином.

При навантаженні задаються якорний струм і швидкість обертання:

$$I_a(t) = I_{a0} + \Delta I \cdot \sin \Omega t,$$

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta \omega \cdot \sin(\Omega t + \varphi),$$

де: φ - кут зрушення між змінними складовими струму і швидкості (φ змінюється в межах 0- π).

Залежність якорної напруги:

$$U_a(t) = I_a(t) \cdot R + L \frac{di_a}{dt} + k\Phi(t) \cdot \omega(t),$$

де: $k\Phi(t)$ - залежність коефіцієнту ЕДС двигуна в часі ($k\Phi(t) = cI_3(t)$).

Можна записати:

$$M_{ав}(t) = M_c + J \frac{d\omega(t)}{dt} =$$

$$= M_c + J \Delta \omega \Omega \sin(\Omega t + \varphi) = I_a(t) \cdot k\Phi(t).$$

Отже:

$$k\Phi(t) = \frac{M_c + J \cdot \Delta \omega \cdot \Omega \cdot \sin(\Omega t + \varphi)}{I_{a0} + \Delta I \cdot \sin \Omega t}.$$

Звідси можна записати вирази для тієї напруги, що повинна бути на якорі:

$$U(t) = [I_a + \Delta I \cdot \sin(\Omega t + \varphi)] \cdot R + L \cdot \Delta I \cdot \Omega \cdot \cos(\Omega t + \varphi) +$$

$$+ \frac{M_c + J \cdot \Delta \omega \cdot \Omega \cdot \cos(\Omega t + \varphi)}{I_{a0} + \Delta I \cdot \sin(\Omega t + \varphi)} \cdot [\omega_0 + \Delta \omega \cdot \sin(\Omega t + \varphi)].$$

Напруга на зажимах обмотки збудження:

$$U_3(t) = k\Phi(t) \cdot \frac{R_3}{c} + \frac{L_3}{c} \cdot \frac{dk\Phi(t)}{dt} =$$

$$= \frac{R_3}{c} \cdot \frac{M_c + J \cdot \Delta\omega \cdot \Omega \cdot \cos(\Omega t + \varphi)}{I_{\alpha 0} + \Delta I \cdot \sin(\Omega t + \varphi)} + \frac{L_3}{c} \cdot \frac{d}{dt} \{k\Phi(t)\}.$$

Спосіб, що пропонується, реалізується в наступному порядку:

- підключають якірний ланцюг і обмотку збудження двигуна до керованих джерел живлення. Розганяють двигун до заданої швидкості;
- задають параметри навантажувального режиму за швидкістю обертання якоря у формі $\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cdot \sin(\Omega t + \varphi)$, за струмом якоря $I_a(t) = I_{a0} + \Delta I \times \sin \Omega t$ і кутом зрушення фаз між змінними складовими струму і швидкості;
- обчислюють напруги перетворювачів якірного ланцюга та ланцюга збудження, що забезпечують задані значення $\omega(t)$ і $I_a(t)$ за параметрами силового ланцюга і ланцюга збудження;
- задають керуючі напруги, відповідні обчисленим, в ланцюги управління перетворювачів якорю і збудження, відповідно;
- вимірюють параметри навантажувального режиму $\omega(t)$, $I_a(t)$, $d\omega/dt$ і dI_a/dt і контролюють параметри роботи щіточно-колекторного апарату;
- змінюють значення куту зрушення фаз між змінними складовими струму і швидкості обертання φ і обчислюють нові значення напруг на якорі та обмотці збудження;
- задають в систему нові значення керуючих напруг і контролюють параметри навантажувального режиму;
- повторюють навантаження через кожні $\Delta\varphi = \pi/3$;
- роблять заключення про дієздатність випробувального двигуна.

Перелік фігур, що ілюструють спосіб та пристрій:

Фіг. 1. - блок схема приладу, що реалізує даний спосіб навантаження.

Фіг. 2 - алгоритм роботи приладу навантаження, що реалізує даний спосіб.

Фіг. 3 - представлена блок-схема інформаційно-діагностичного приладу.

Фіг. 4 - представлені графіки, що ілюструють роботу приладу динамічного навантаження.

Прилад (фіг. 1) включає в себе двигун 1, підключений по якірному ланцюгу до тиристорного нерверсивного перетворювача 2. Обмотка збудження двигуна живиться від реверсивного тиристорного перетворювача 5. Струм якірного ланцюга контролюється датчиком струму 4, напруга - датчиком напруги 3. Струм збудження контролюється датчиком струму 6. Блоки 2 і 5 типові, включають як силовий модуль, так і систему управління тиристорами СІФУ. Системи управління 8-7 системи підпорядкованого регулювання із зворотними зв'язками по струму (якоря і збудження, відповідно). Регулятори струму у системах 7 та 8 пропорційно- чи пропорційно-інтегрального типу. Всі згадані блоки і елементи - типові прилади систем автоматичного управління електроприводами.

Блок 9 - керуюча ЕОМ, що реалізує наступні функції:

- вимір параметрів режиму навантаження $I_a(t)$, $U_a(t)$, $\varphi(t)$, $\omega(t)$;
- визначення і завдання, в відповідні системи управління, законів зміни $U_a(t)$, $U_3(t)$;

- корекцію режиму навантаження, якщо один або декілька параметрів виходять за межі заданих.

При організації режиму навантаження, як відомі, задаються наступні параметри двигуна, визначені заздалегідь:

- R_a - активний опір якоря;
- L_a - індуктивність якірного ланцюга;
- J - момент інерції якоря;
- L_3 - індуктивність обмотки збудження;
- M_c - момент холостого ходу двигуна.

Залежності $U_a(t)$ і $U_3(t)$ в ЕОМ з цифрової форми з допомогою вбудованого або інтерфейсного цифро-аналогового перетворювача надходять на блоки 7 та 8. Якщо будь-яка з величин $I_a(t)$, $U_a(t)$ стають вище допустимих то з ЕОМ надходять сигнали для їхнього зниження, причому обмеження величин здійснюється програмним шляхом.

Сигнал, пропорційний швидкості обертання з датчика 10 надходить на віднімальний вхід суматора 11; одержуваний сигнал помилки надходить на пороговий елемент 12 - релейний елемент, який спрацьовує при досягненні помилкою заданої величини, при цьому здійснюється аварійне захисне відключення.

Радіоперешкоди, викликані комутуючим якірним струмом вимірюються з допомогою блоку 13, що являє собою антенний радіопристрій, один із варіантів якого [представлений в: Р.М. Терещук, К.М. Терещук, С.А. Сєдов. Напівпровідникові приймально-підсилюючі пристрої. - С. 481, рис. VII.17], встановлюваний на відстані $r \leq 0,25$ м, сигнал з блоку крізь аналогово-цифровий вхід 9 надходить на ЕОМ, де обробляється, в процесі обробки виділяється максимум рівня перешкод та частота перешкод. Сертифікаційний параметр навантажувального двигуна відповідає вимогам:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \omega_H, \\ I_E &= I_H, \\ \delta_k &= 1 \text{ при } \frac{d\omega}{dt} = A; \quad \frac{dI}{dt} = B. \end{aligned}$$

Параметр δ_k - комутуючий фактор, який встановлює безіскрову так звану темну комутацію [Гемке В.Д. Неисправности электрических машин. - С. 128]. Параметру δ_k відповідає деякий максимальний рівень радіоперешкод. Якщо параметр В не заданий, то в умовах навантаження параметром, котрий змінюється, буде А.

На фіг. 2. представлений алгоритм роботи приладу навантаження що реалізує даний спосіб.

Процес навантаження розпочинається із підключення силових ланцюгів системи; машину розганяють до швидкості, відповідної постійній, що складає $\omega_s(t)$; на наступному етапі в ЕОМ вводяться дані за параметрами, заміряними раніше; після цього задають параметри, що організують режим навантаження: швидкість обертання та струм якоря (змінні і постійні складові), а також кут зрушення фаз між змінними складовими; весь обсяг даних ЕОМ обробляє і, у відповідності з заданим законом управління, формує сигнали управління перетворювачами $U_{ya}(t)$ та $U_{y3}(t)$, що корегуються регуляторами відповідних ланцюгів і поступають на керуючі входи перетворювачів; в період навантаження вимірюються величини: напруга якоря

($U_a(t)$), струм якоря ($I_a(t)$), струм збудження ($I_z(t)$), напруга збудження ($U_z(t)$), швидкість обертання ($\omega(t)$), шумове тло ($U_{ш}(t)$), параметри di/dt та $d\omega/dt$; по закінченні деякого часу змінюється кут зрушення між змінними складовими струму і швидкості; процес навантаження при заданих $I_a(t)$ та $\omega(t)$ здійснюють для ряду значень кута φ , причому можна вжити діапазон зміни $(0-\pi)$ з інтервалом 30° .

Максимальне значення рівня радіопомех відповідає допустимій шумовій зоні.

Одержані результати систематизуються та оформлюються у вигляді файлу-звіту. За отриманими даними робиться висновок про технічний стан машини.

На фіг. 3 представлена блок-схема інформаційно-діагностичного приладу.

Прилад виконує наступні функції:

- автоматичний вимір контрольних величин, їхня обробка та оперативне видача для контролю при провадженні операцій іспиту;
- створення систем автоматичного управління процесом іспиту з метою підтримання тих чи інших параметрів в межах заданих;
- одержання додаткової інформації для визначення діагностичних признаков з метою вирішення задач по визначенню якісних характеристик дієздатності електричних машин;
- підготовка та видача документації на випробуванні електричні машини.

В свій склад інформаційно-діагностичний комплекс включає наступні елементи:

- систему датчиків фізичних величин 1 (напруг, струмів, радіопомех), що характеризують режим роботи випробуваної електричної машини в її електричній та механічній частинах;
- обчислювальний прилад 6, як такий може виступати спеціалізована ЕОМ або мікропроцесор;

- прилад для введення інформації 10, її виводу та відображення 4 (клавіатура управління, дисплей, друкуючий прилад) та зв'язку з об'єктом (прилад здійснює прийом та передачу даних в зручній для обробки формі шляхом перетворення сигналів з датчиків блоком вторинних датчиків 1, передачі одержаних сигналів на аналоговий мультиплексор 2, з якого інформація поступає на АЦП 3, та в цифровому вигляді записується до ЕОМ 6; процес видачі керуючих сигналів здійснюється ЕОМ по каналу цифро-аналогового перетворення, що складають безпосередньо ЦАП 10, аналоговий демultipлексор 9 та підсилюючий блок 7 і 8, сигнали з якого є задавальними для перетворювачів; контроль та управління здійснюється мікроконтролером 5 за командами ЕОМ).

На фіг. 4 представлені графіки, що ілюструють роботу приладу динамічного навантаження. Графіки отримані шляхом моделювання системи навантаження з параметрами машини постійного струму незалежного збудження ПЗ1М:

$P_H=1,4$ кВт; $U_H=220$ В; $n_H=3000$ об/мин; $\eta_H=91\%$; $M_H=4,45$ Нм; $R_a=2,7$ Ом; $R_{дод}=0,081$ Ом; $R_s=314$ Ом; $L_a=87$ мГн; $I_a=8,7$ А; $k\Phi=0,63$ В/с; $J=0,021$ кг/м²; $P_{оз}=0,22$ кВт; $I_{оз}=1$ А; $U_{оз}=220$ В.

Результати являють, формування навантажувального режиму із заданими параметрами за швидкістю $\omega(t)=\omega_0+\Delta\omega\cdot\sin(\Omega t+\varphi)$, за струмом якоря $I_a(t)=I_{a0}+\Delta I\cdot\sin\Omega t$, при цьому амплітуди струму і швидкості взаємопов'язані, та надуживання будь-якої з них за межами допустимого призводить до зміни відпрацьованого сигналу, потік збудження на час пуску форсується, зменшуючи початковий кидок струму, у всіх передбачених режимах потік є знакозмінним. Варіюючи частотою чи амплітудою змінних складових, формуються необхідні параметри $d\omega/dt$ і dI_a/dt .

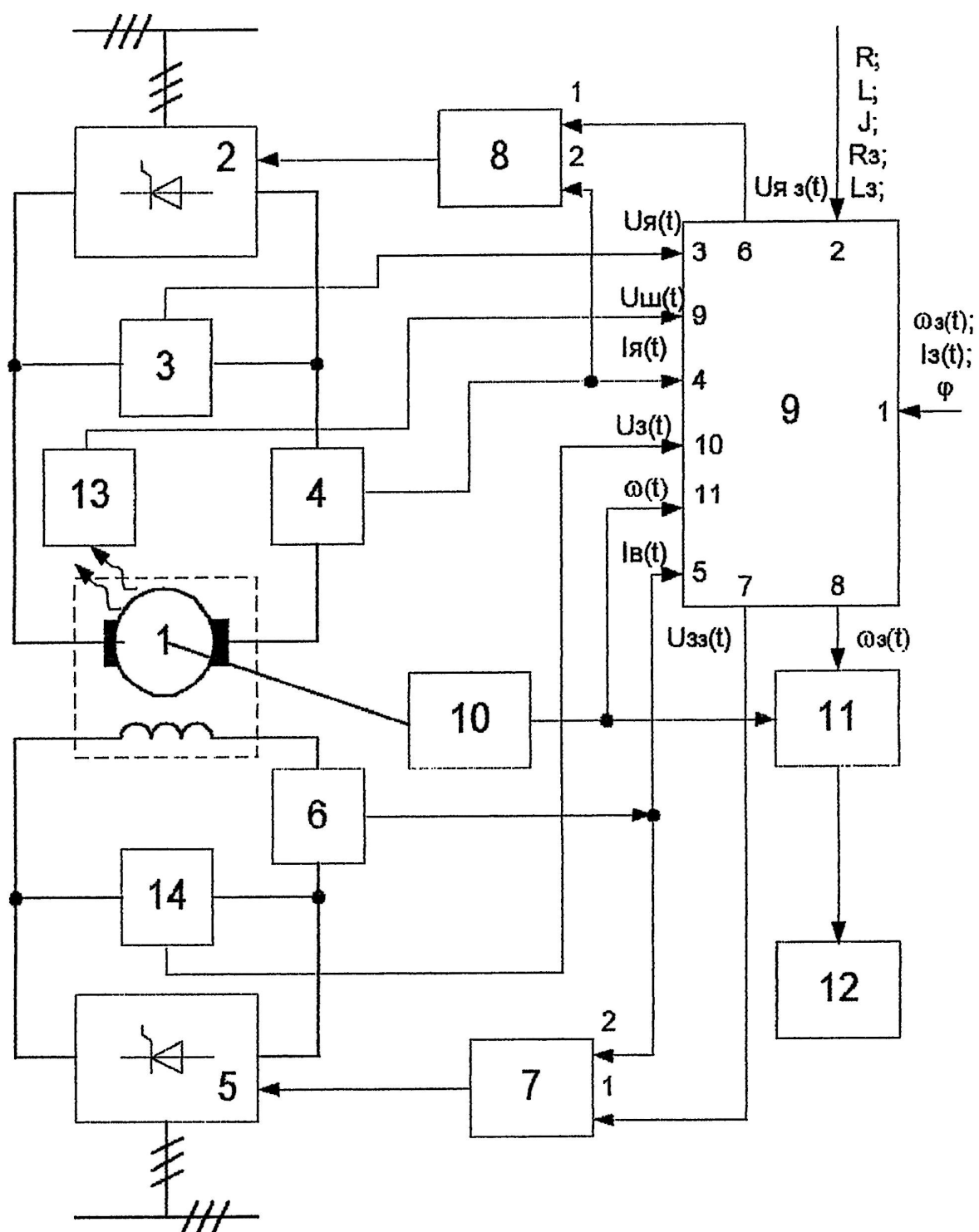
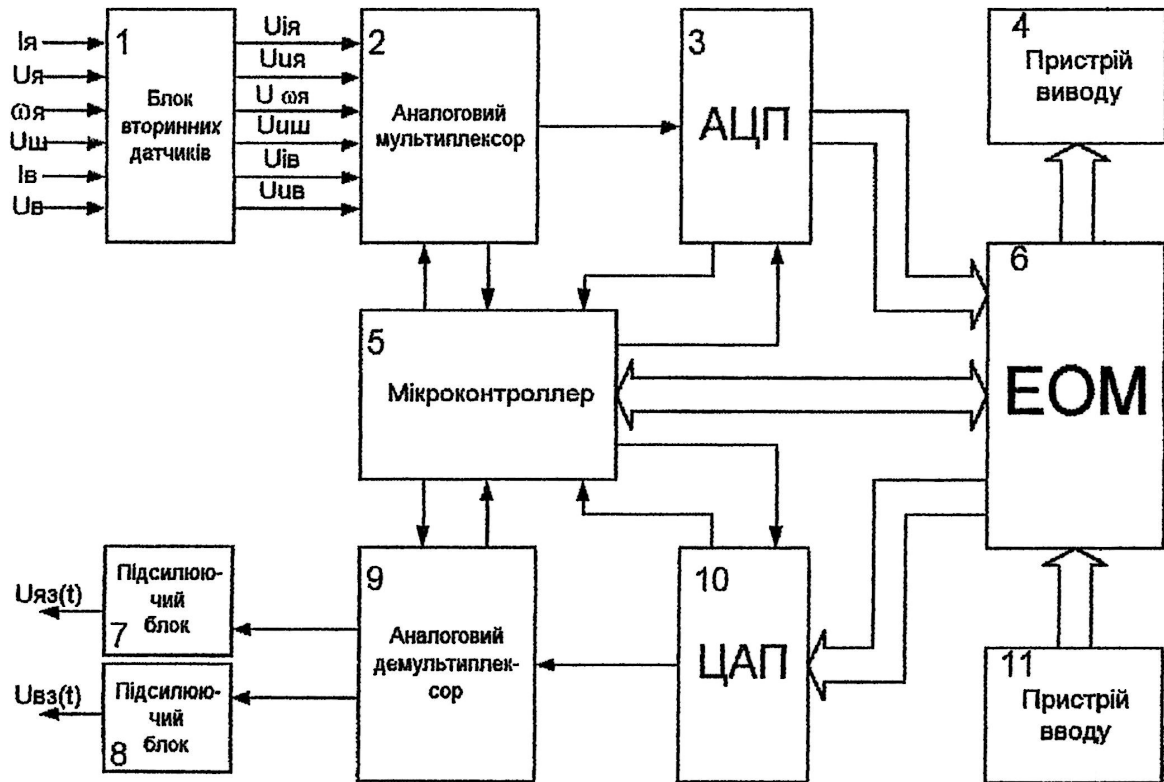


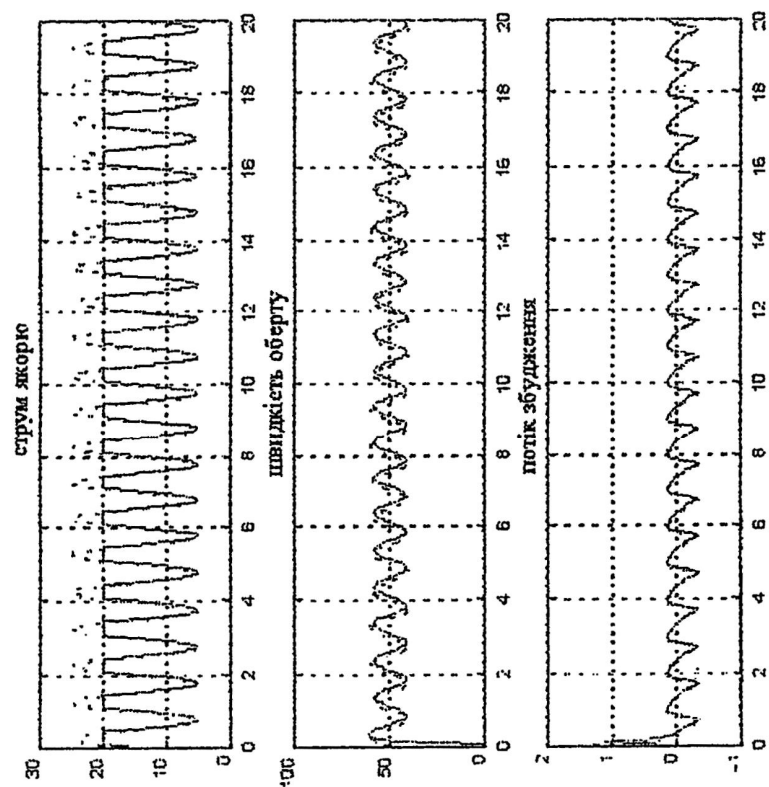
Fig. 1



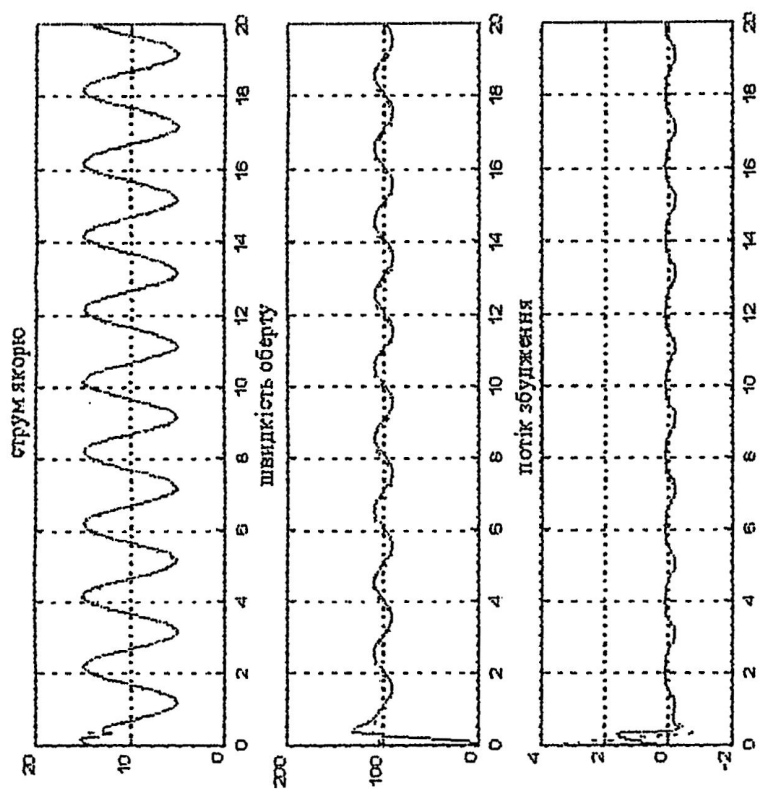
Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4



ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60х84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
